



TITLE:

Synchrotron Radiation X-ray Diffraction Study on
Microstructural and Crystallographic Characteristics of
Deformation-Induced Martensitic Transformation in
SUS304 Austenitic Stainless Steel(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Chen, Meichuan

CITATION:

Chen, Meichuan. Synchrotron Radiation X-ray Diffraction Study on Microstructural and Crystallographic Characteristics of Deformation-Induced Martensitic Transformation in SUS304 Austenitic Stainless Steel. 京都大学, 2016, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19709>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により本文は2019-03-31に公開; 許諾条件により要約は2017-03-22に公開; 許諾条件により要旨は2016-06-22に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	陳 美伝
論文題目	Synchrotron Radiation X-ray Diffraction Study on Microstructural and Crystallographic Characteristics of Deformation-Induced Martensitic Transformation in SUS304 Austenitic Stainless Steel (放射光X線回折を用いたSUS304オーステナイト系ステンレス鋼の変形誘起マルテンサイト変態における組織と結晶学的特徴に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、SUS304 オーステナイト系ステンレス鋼(Fe-18.2Cr-8.1Ni-0.06C (mass%) 合金)における変形誘起マルテンサイト変態に伴う組織形成過程とその結晶学的特徴を、詳細な組織・結晶学解析と放射光 X 線回折を利用した局所応力測定結果に基づき調査・議論した実験研究結果を取りまとめたものであり、5 章からなっている。</p>			
<p>第1章は序論であり、本研究の背景と目的を示している。近年、高強度・高延性を有する構造用金属材料の開発が重要な課題となっている。高強度組織を得る手段の一つであるマルテンサイト変態は、母相をある一定の温度（マルテンサイト変態開始温度：Ms 点）以下に冷却すると生じるが、Ms 点以上の温度であっても、外部から変形を付加することにより発現する。母相の変形中に生じるマルテンサイト変態は「変形誘起マルテンサイト変態」と呼ばれており、形状記憶・超弾性効果や変態誘起塑性(Transformation-Induced Plasticity: TRIP) 効果に利用されている。鉄鋼材料において発現する TRIP 効果は、母相オーステナイトの変形中に強度の高いマルテンサイトが変形誘起相変態することによって、塑性不安定の発生を効果的に抑制するものである。変形誘起マルテンサイト変態における組織形成過程を明らかにし、マルテンサイト変態を制御することができれば、TRIP 効果を通して材料の力学特性を大きく向上させることが期待できる。変形誘起マルテンサイトの組織や結晶学的特徴は、外部付加応力の影響を強く受けることが知られており、これまで、外部応力と変形誘起マルテンサイト変態の関係に関していくつかのモデルが提案されてきている。しかし、多結晶体における変形誘起マルテンサイト変態とそれに伴う組織形成過程については、十分な理解が得られていないのが現状である。その一因は、多結晶体内部の応力状態は一般に複雑で、平均的な外部付加応力とは大きく異なると考えられているにもかかわらず、多結晶体中の局所応力場を測定する手段がなかったことにある。本研究は、準安定オーステナイト鋼である SUS304 オーステナイト系ステンレス鋼を用い、大型放射光施設(SPring-8)での放射光 X 線回折を利用した新規な局所応力解析技術（EXDM 法）によって、引張変形中の多結晶母相オーステナイトの局所応力場を測定し、得られる局所応力場を基にした精緻な組織・結晶学的解析によって、変形誘起マルテンサイト変態の組織と結晶学的特徴をその成因とともに明らかにしようとするものである。</p>			
<p>第2章では、SUS304 鋼を液体窒素温度にサブゼロ処理することによって生じる熱誘起マルテンサイトの組織と結晶学的特徴を詳細に調べ、母相オーステナイト (FCC 構造) から結晶構造の異なる ε マルテンサイト (HCP 構造) と α' マルテンサイト (BCC 構造) の 2 種類のマルテンサイトが生成することを明らかにしている。そして、オーステナイトと ε マルテンサイト、ε マルテンサイトと α' マルテンサイト、オーステナイトと α' マルテンサイトがそれぞれ Shoji-Nishiyama 方位関係、Burgers 方位関係、Kurdjumov-Sachs 方位関係を満たすことを明確に示し、それぞれのマルテンサイトの組</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	陳 美伝
<p>組織と結晶学的特徴から、熱誘起マルテンサイト変態がオーステナイト→ϵ マルテンサイト→α'マルテンサイトという順序で生じていることを見出している。</p>			
<p>第3章では、変形誘起マルテンサイト変態のうち、母相オーステナイトの弾性変形中に生じるマルテンサイト変態（応力誘起マルテンサイト変態）について研究している。応力誘起マルテンサイトの組織や結晶学的特徴は、熱誘起マルテンサイトと類似しており、かつ変態の順序が熱誘起の場合と同様に、オーステナイト→ϵ マルテンサイト→α'マルテンサイトであることを示している。また、詳細な組織観察・方位解析によって、応力誘起マルテンサイト変態では、オーステナイト→ϵ マルテンサイトの変態過程においてバリエーション選択が生じ、特定のϵ マルテンサイトバリエーションが優先的に生成するが、ϵ マルテンサイト→α'マルテンサイトの変態過程ではバリエーション選択は存在しないことを明らかにしている。さらに、オーステナイト→ϵ マルテンサイト変態時のバリエーション選択は平均的な外部応力では説明できないことを示した上で、放射光 X 線回折を用いて引張変形中の母相オーステナイトの局所応力場を測定し、オーステナイト→ϵ マルテンサイト変態を担うショックレー部分転位が受ける分解せん断応力成分を局所応力場から計算することによって、最も大きな分解せん断応力を受けるショックレー部分転位に対応するϵ マルテンサイトバリエーションが優先的に生成することを初めて証明している。</p>			
<p>第4章では、母相オーステナイトの塑性変形中に生じるマルテンサイト変態（ひずみ誘起マルテンサイト変態）の組織形成過程を調べており、組織形態が熱誘起マルテンサイトや応力誘起マルテンサイトとは異なることを見出している。また、塑性変形中の種々のひずみ量における母相オーステナイトの局所応力場を放射光 X 線回折により測定し、第3章で示した応力誘起マルテンサイト変態と同様に、ショックレー部分転位が受けるせん断応力成分の大小によって、優先的に生成するϵ マルテンサイトバリエーションが決定されることを明らかにしている。さらに、応力誘起マルテンサイト変態の場合とは異なり、ひずみ誘起マルテンサイト変態では、ϵ マルテンサイト→α'マルテンサイトの変態過程においてもバリエーション選択が存在することを見出している。そして、ϵ マルテンサイトを経由せずに、母相オーステナイトからα'マルテンサイトが直接生成すると仮定して、α'マルテンサイトのバリエーション選択を解析した結果、従来から報告されている Patel and Cohen モデルや Bogers and Burgers モデルでは説明できないことを明確に示している。一方、局所応力場測定結果を基にした解析より、オーステナイト→ϵ マルテンサイト変態を仮定した場合には、最も大きな分解せん断応力を受けるショックレー部分転位に対応するϵ マルテンサイトバリエーションが優先的に生成していることを明らかにしている。この結果は、本論文で用いた SUS304 オーステナイト系ステンレス鋼のマルテンサイト変態が オーステナイト→ϵ マルテンサイト→α'マルテンサイトという順序で生じていることを示すものである。</p>			
<p>第5章は総括であり、本研究で得られた結果を要約し、統括している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、SUS304 オーステナイト系ステンレス鋼 (Fe-18.2Cr-8.1Ni-0.06C (mass%) 合金) における変形誘起マルテンサイト変態に伴う組織形成過程とその結晶学的特徴を、大型放射光施設 (SPring-8) での放射光 X 線回折を利用した局所応力測定結果に基づき調査・議論した研究結果を取りまとめたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 熱誘起マルテンサイトおよび変形誘起マルテンサイト (応力誘起マルテンサイト変態とひずみ誘起マルテンサイト変態) の組織と結晶学的特徴を詳細に解析し、これらのマルテンサイト変態はオーステナイト(FCC 構造) → ϵ マルテンサイト(HCP 構造) → α' マルテンサイト (BCC 構造) という順序で生じることを明らかにした。この結果は、これまで議論が分かれていたオーステナイト系ステンレス鋼におけるマルテンサイト変態の素過程を明確に証明したものであり、マルテンサイト変態の変態機構を基礎的に議論していく上で極めて有益な成果である。
2. 放射光 X 線回折を用いて引張変形中の多結晶母相オーステナイトの局所応力場を測定し、局所応力場が多結晶体中の場所によって大きく異なり、外部応力とは一般的に一致しないことを明確に示した。
3. 変形誘起マルテンサイト変態の各変態過程におけるバリエーション選択を、詳細な組織・結晶方位解析により明らかにした。特に、オーステナイト → ϵ マルテンサイト変態過程でのバリエーション選択を、放射光 X 線回折を用いて測定した引張変形中の多結晶母相オーステナイトの局所応力場に基づいて解析し、平均的な外部応力場によってはバリエーション選択が説明できないこと、一方局所応力によればバリエーション選択が説明され、オーステナイト → ϵ マルテンサイト変態を担うショックレー部分転位が受ける分解せん断応力成分の大小によって優先的に生成する ϵ マルテンサイトのバリエーションが決定されることを初めて証明したことは、特筆すべき成果である。

以上の成果をまとめた本論文は、SUS304 オーステナイト系ステンレス鋼における変形誘起マルテンサイト変態時のバリエーション選択を含む組織形成過程を、放射光 X 線回折を利用した多結晶体中の局所応力測定という先端的手法を用いて初めて明らかにしたものであり、学術上寄与するところが少なくない。また、本論文で得られた成果は、今後の変形誘起マルテンサイト変態に関する研究における指針的な役割を果たすとともに、TRIP 効果を利用した高強度・高延性構造材料の設計にも有益な情報を与えることが期待される。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 28 年 2 月 23 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、(平成 31 年 3 月 30 日までの間) 当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。